



⑪ Numéro de publication : **0 520 847 A1**

⑫ **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑲ Numéro de dépôt : **92401465.7**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup> : **G21F 9/00**

⑲② Date de dépôt : **27.05.92**

③⑩ Priorité : **26.06.91 FR 9107897**

⑦② Inventeur : **Cartry, Jean-Pierre**  
**17, rue Saint Antoine**  
**F-69003 Lyon (FR)**

④③ Date de publication de la demande :  
**30.12.92 Bulletin 92/53**

⑦④ Mandataire : **Jacobson, Claude et al**  
**Cabinet Lavoix 2, Place d'Estienne d'Orves**  
**F-75441 Paris Cedex 09 (FR)**

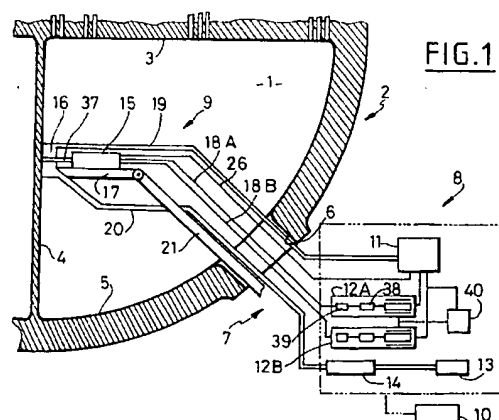
⑧④ Etats contractants désignés :  
**BE CH DE ES LI SE**

⑦① Demandeur : **FRAMATOME**  
**Tour Fiat 1, Place de la Coupole**  
**F-92400 Courbevoie (FR)**

⑤④ **Procédé de travail au laser dans une zone contaminée d'une installation nucléaire, et équipement pour sa mise en oeuvre.**

⑤⑦ Suivant ce procédé, on génère l'énergie de travail, sous forme d'au moins deux faisceaux laser pulsés, hors de la zone contaminée (en 12A, 12B); on transporte cette énergie au moyen d'au moins deux fibres optiques (18A, 18B) jusqu'à un emplacement voisin de la surface à traiter; à cet emplacement, on combine (en 15) les faisceaux laser de façon à produire au moins un faisceau laser résultant (37); et on envoie ce faisceau sur ladite surface, éventuellement par l'intermédiaire d'au moins un miroir de renvoi.

Application à la décontamination du circuit primaire des réacteurs nucléaires à eau pressurisée.



La présente invention est relative à un procédé et un équipement de travail au laser sur une surface contenue dans une zone contaminée d'une installation nucléaire.

L'invention s'applique notamment à la décontamination par faisceau laser, en milieu aqueux ou gazeux, de surfaces ayant reçu un dépôt de matières radioactives telles que des oxydes de métaux activés, afin de réduire le niveau de radiations et de permettre ainsi l'accès ou l'approche du personnel d'intervention.

Le circuit primaire des centrales nucléaires à eau pressurisée est concerné par cette invention et plus particulièrement la boîte à eau des générateurs de vapeur et les tuyauteries primaires.

La décontamination peut être nécessaire lors d'une vérification ou d'une réparation à effectuer dans la partie contaminée de la centrale, lors du remplacement d'un équipement tel qu'un générateur de vapeur, et également lors du démantèlement de cette centrale.

On connaît plusieurs procédés de décontamination :

- la projection de particules abrasives pour éliminer par abrasion la pellicule d'oxyde radioactive, ou la dissolution chimique de cette pellicule, qui ont pour inconvénient de produire des quantités importantes d'effluents coûteux à traiter;
- la décontamination par faisceau laser. Dans un procédé connu de ce type, décrit dans le EP-A-91 646, un faisceau laser est émis à l'entrée de la boîte à eau et renvoyé sur la paroi intérieure de celle-ci par des miroirs orientables fixés à la plaque tubulaire. Ce procédé, de par sa conception même, ne permet pas, même avec des impulsions laser à forte densité d'énergie, de traiter de façon uniforme toutes les surfaces à décontaminer. De plus, l'élimination des résidus radioactifs, effectuée par aspiration de l'air contenu dans la boîte à eau, est peu efficace.

L'invention a pour but de permettre de travailler de façon efficace au moyen d'un laser dans une zone contaminée.

A cet effet, le procédé suivant l'invention est caractérisé en ce qu'on génère l'énergie de travail, sous forme d'au moins deux faisceaux laser pulsés, hors de la zone contaminée; on transporte cette énergie au moyen d'au moins deux fibres optiques associées respectivement auxdits faisceaux, jusqu'à un emplacement voisin de ladite surface; à cet emplacement, on combine les faisceaux laser de façon à produire au moins un faisceau laser résultant; et on envoie ce faisceau résultant sur ladite surface, éventuellement par l'intermédiaire d'au moins un miroir de renvoi.

Suivant d'autres caractéristiques :

- on confine la région de travail et, pendant le travail au laser, on aspire le gaz contenu dans la région confinée;

- on envoie un gaz protecteur ou actif dans la région de travail pendant le travail au laser;
- pour la décontamination de ladite surface, ledit faisceau laser résultant possède des impulsions ayant une énergie de 0,3 à 2 joules, ou plus, et une densité d'énergie de 1 à 4,5 J/cm<sup>2</sup>;
- lesdites impulsions ont une durée de 10 à 30 ns.

L'invention a également pour objet un équipement destiné à la mise en oeuvre d'un tel procédé. Cet équipement est caractérisé en ce qu'il comprend :

- au moins un générateur d'énergie laser pulsée, notamment du type Nd-YAG ou excimère, disposé en dehors de la zone contaminée;
- des moyens pour mettre l'énergie laser sous forme d'au moins deux faisceaux laser pulsés;
- un dispositif de combinaison de ces faisceaux laser, produisant au moins un faisceau laser résultant dirigé vers ladite surface, éventuellement par l'intermédiaire d'au moins un miroir de renvoi;
- au moins deux fibres optiques de transport desdits faisceaux, respectivement, jusqu'à l'entrée de ce dispositif de combinaison; et
- des moyens pour déplacer le dispositif de combinaison en regard de ladite surface et au voisinage de celle-ci.

Suivant d'autres caractéristiques :

- l'équipement comprend une enceinte de confinement mobile solidairement avec le dispositif de combinaison ou avec le miroir et munie de moyens d'aspiration;
- l'équipement comprend des moyens d'introduction d'un gaz protecteur ou actif dans l'enceinte de confinement;
- l'équipement comprend deux générateurs d'énergie laser pulsée, une fibre optique associée à chaque générateur, et un dispositif de synchronisation des générateurs;
- le ou chaque générateur comprend au moins un amplificateur de sortie;
- chaque fibre optique a une longueur d'au moins 10 m environ;
- le miroir de renvoi monté en aval du dispositif de combinaison est mobile par rapport à celui-ci;
- dans le cas du traitement au laser d'une canalisation, le dispositif de combinaison est porté par un support centreur mobile axialement dans la canalisation, et le miroir de renvoi est fixé dans l'enceinte de confinement, laquelle est montée rotative sur ce support, ce dernier portant des moyens d'entraînement en rotation de l'enceinte.

Des exemples de mise en oeuvre de l'invention vont maintenant être décrits en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la Figure 1 représente schématiquement un équipement de décontamination au laser conforme à l'invention;
- la Figure 2 représente à plus grande échelle un détail de cet équipement;

- la Figure 3 est une vue analogue à la Figure 2 d'une variante; et

- les Figures 4 et 5 sont des vues analogues à la Figure 2 illustrant la décontamination, conformément à l'invention, d'une conduite d'eau primaire.

On a représenté à la Figure 1, en coupe axiale, l'un 1 des deux compartiments de la boîte à eau 2 d'un générateur de vapeur de réacteur nucléaire à eau pressurisée. Ce compartiment 1 est délimité vers le haut par la plaque tubulaire 3, d'un côté par la cloison verticale médiane 4 de la boîte à eau, et de l'autre côté et vers le bas par le fond hémisphérique 5 de la boîte à eau, lequel est traversé par un trou d'homme 6.

On a également représenté sur la Figure 1 un équipement 7 adapté pour permettre la décontamination par faisceau laser des surfaces qui délimitent le compartiment 1. Cet équipement comprend un appareillage externe 8 disposé à l'extérieur de la boîte à eau, dans un local approprié protégé des radiations, et un appareillage interne 9 disposé à l'intérieur du compartiment 1 et pouvant être introduit dans celui-ci à travers le trou d'homme.

L'appareillage 8 comprend un pupitre de commande 10, un générateur d'énergie électrique et de fluides 11, deux générateurs de faisceau laser pulsé 12A, 12B identiques, et une pompe aspirante 13 à l'entrée de laquelle est prévu un filtre 14.

L'appareillage 9 comprend un dispositif ou boîtier 15 de combinaison de faisceaux laser et une enceinte de confinement 16, portés par un support 17. Le boîtier 15 comporte deux entrées respectivement reliées à la sortie des générateurs 12A et 12B par une fibre optique 18A, 18B de type multimode ayant une longueur d'au moins 15 m environ. L'enceinte 16 est reliée d'une part, via une conduite 19, à une source de gaz protecteur (neutre ou réducteur) ou actif contenue dans le générateur 11, et d'autre part, via une conduite 20, au filtre 14 et à la pompe 13. Le support 17 constitue l'extrémité d'un robot articulé, schématisé en 21, télécommandé depuis le pupitre 10 et permettant de disposer l'appareillage 9 en regard de n'importe quelle région des surfaces 3, 4, 5 à décontaminer et au voisinage de celle-ci.

L'appareillage 9 est représenté plus en détail sur la Figure 2. Comme on le voit sur cette figure, le boîtier 15 est fixé au support 17 et pourvu d'une alimentation électrique 23 reliée via une ligne 26 (Figure 1) au générateur 11. Une face d'entrée du boîtier 15 est percée de deux orifices dans lesquels sont respectivement fixées l'extrémité distale des fibres optiques 18A, 18B, et, après leur combinaison dans ce boîtier, les deux faisceaux entrants forment un faisceau laser pulsé parallèle unique qui en ressort à travers un orifice de sortie 29.

A son extrémité distale, le support 17 porte un cadre 30 dans lequel plusieurs colonnettes 31 parallèles à l'axe X-X du boîtier 15, sollicitées par des ressorts

32 dans le sens opposé à ce boîtier, sont montées coulissantes. L'enceinte 16, qui a une forme de coupelle, présente un fond 33 perpendiculaire à l'axe X-X qui est fixé à l'extrémité distale des colonnettes 31, et une paroi latérale 34 dont le bord libre est muni de roulettes 35. Le fond 33 comporte un orifice 36 d'axe X-X dont le diamètre est légèrement supérieur à celui du faisceau combiné 37.

Chaque générateur laser 12A et 12B est d'un type permettant le transport du faisceau par fibre optique. Il peut être en particulier du type Nd-YAG (longueur d'onde 1,06  $\mu\text{m}$ ) ou du type excimère (longueur d'onde 0,3  $\mu\text{m}$ ). Il comprend à sa sortie deux amplificateurs 38, 39 en série (ou, en variante, un seul amplificateur) et émet des impulsions ayant une durée de 10 à 30 ns. Un dispositif ou boîtier de synchronisation 40 est associé aux deux générateurs 12A, 12B, et l'ensemble est réglé pour fournir à la sortie du boîtier de combinaison 15 un faisceau combiné 37 dont les impulsions ont une énergie de 0,3 à 2 joules ou plus et une densité d'énergie (ou fluence) de 1 à 4,5 J/cm<sup>2</sup>.

En fonctionnement, les roulettes 35 sont appliquées, avec une force déterminée par les ressorts 32, sur la surface à décontaminer, qui est la cloison 4 dans l'exemple représenté. Un gaz protecteur ou actif balaye l'enceinte 16, et les faisceaux pulsés émis par les générateurs 12A et 12B, transportés par les fibres optiques 18A, 18B et combinés en 15, sont envoyés directement, sous la forme du faisceau parallèle unique 37, sur la surface à traiter, perpendiculairement à celle-ci. On balaie toutes les surfaces à décontaminer de cette manière en déplaçant le support 17 au moyen du robot 21.

La densité d'énergie précitée est choisie de manière à permettre une pénétration thermique correspondant à l'épaisseur, ou à une partie de l'épaisseur, de la couche d'oxyde radioactive à éliminer, chaque impulsion créant une onde de choc sur cette couche. L'utilisation d'un gaz neutre ou réducteur de balayage réduit l'oxydation de la surface décapée, tandis que l'utilisation d'un gaz actif, notamment d'oxygène, permet d'augmenter l'épaisseur de la couche d'oxyde intéressée par les impulsions laser. Le choix du gaz de balayage sera donc établi en fonction des conditions particulières de chaque application.

L'utilisation d'une fibre optique multimode pour le transport de chaque faisceau laser procure un avantage considérable lié à la répartition d'énergie dans le faisceau en sortie de ladite fibre, et donc au niveau de la tache d'impact du faisceau sur la paroi. En effet, dans ce cas, la répartition d'énergie est sensiblement constante sur toute la surface de la tache; elle est en forme de crêneau au lieu d'avoir une répartition comportant un pic central comme c'est le cas avec une transmission du faisceau par voie aérienne. Il faut cependant que les fibres soient suffisamment longues pour que l'homogénéisation de l'énergie soit

correcte, par exemple de l'ordre de 10 m. Avec des fibres optiques plus courtes, il conviendrait dans certains cas d'utiliser dans les générateurs 12A et 12B des artifices connus en soi fournissant une répartition homogène, en créneau, de l'énergie.

Comme on le comprend, une répartition en créneau de l'énergie permet de travailler sans perte d'efficacité avec des puissances laser réduites, ce qui est avantageux.

L'utilisation d'un boîtier de combinaison 15 à proximité de la surface à décontaminer présente de nombreux avantages :

- les générateurs laser 12A, 12B sont disposés en dehors de la zone contaminée;
- les faisceaux laser peuvent être transportés par fibre optique jusqu'au voisinage de la surface à traiter, avec les avantages précités, ce qui ne serait pas le cas si toute l'énergie du faisceau 37 était fournie par un unique générateur laser, à cause des possibilités limitées de transport de puissance laser des fibres optiques;
- le faisceau 37 étant un faisceau parallèle qui arrive perpendiculairement sur la surface à traiter, la distance entre cette surface et l'orifice de sortie de faisceau 29 du boîtier 15 n'est pas critique, et il n'est pas nécessaire de la maintenir constante.

L'appareillage 9A représenté sur la Figure 3 diffère de celui de la Figure 2 par le fait que le support 17 est agencé de façon que l'axe X-X du boîtier de combinaison 15 soit parallèle à la surface à traiter. Les colonnettes 31 sont perpendiculaires à cet axe X-X, et un miroir de renvoi 38 incliné à 45° est fixé en regard de l'orifice 36 de l'enceinte 16. Le fonctionnement de cette variante est le même que celui décrit plus haut. Cette variante s'applique notamment au travail au laser dans des espaces réduits.

La variante de la Figure 3 peut être modifiée comme suit : l'ensemble enceinte 16-colonnettes 31-miroir 38 est relié au support 17 par l'intermédiaire d'un autre support monté mobile sur ce dernier, en translation et/ou en rotation autour de l'axe du boîtier 15. On peut ainsi, pour chaque position de ce boîtier, balayer efficacement une région relativement étendue à traiter, quelle que soit la forme de cette région.

Les Figures 4 et 5 représentent une telle modification, appliquée à la décontamination de la paroi d'une conduite primaire, supposée rectiligne dans le cas de la Figure 4 et incurvée dans celui de la Figure 5.

Le boîtier 15 est fixé par des entretoises 42 dans le conduit d'aspiration 20, de même qu'un moteur 43. Le conduit 20 est porté par un chariot 44 de centrage et de guidage dans la conduite 45 à décontaminer. L'enceinte 16 constitue l'extrémité distale d'un tube en L 46 dont l'autre extrémité, directement reliée à cette enceinte par une dérivation 20A, est montée coaxialement à rotation dans l'extrémité distale du

conduit 20 et reçoit le boîtier 15. Le miroir de renvoi 38 est fixé dans le coude du tube 46. L'extrémité proximale de ce tube porte extérieurement une couronne dentée 47 qui engrène avec un pignon de sortie 48 du moteur 43. Des moyens appropriés d'avance du chariot 44, éventuellement entraînés par le même moteur 43, sont généralement prévus.

On voit en outre sur la Figure 5 un embout 49 de guidage et d'avancement motorisé du conduit 20, monté provisoirement à l'extrémité de la conduite 45.

Dans un autre mode de réalisation de l'invention, les deux générateurs 12A, 12B peuvent être remplacés par un générateur laser unique; si la puissance qu'il émet peut être transportée par une fibre optique unique, le boîtier 15 est un simple dispositif de traitement optique du faisceau laser. Dans le cas contraire, on divise le faisceau sortant du générateur en deux faisceaux partiels, on transporte chacun de ceux-ci par une fibre optique, et on les recombine dans le boîtier 15.

Dans tous les cas, il est possible de créer plusieurs faisceaux 37 parallèles, pénétrant dans l'enceinte 16 par plusieurs orifices 36. On traite alors à chaque instant une plus grande surface.

## Revendications

1 - Procédé de travail au laser sur une surface (3, 4, 5) contenue dans une zone contaminée (2) d'une installation nucléaire, caractérisé en ce qu'on génère l'énergie de travail, sous forme d'au moins deux faisceaux laser pulsés, hors de la zone contaminée (en 12A, 12B); on transporte cette énergie au moyen d'au moins deux fibres optiques (18A, 18B) associées respectivement auxdits faisceaux, jusqu'à un emplacement voisin de ladite surface; à cet emplacement, on combine (en 15) les faisceaux laser de façon à produire au moins un faisceau laser résultant (37); et on envoie ce faisceau résultant sur ladite surface, éventuellement par l'intermédiaire d'au moins un miroir de renvoi.

2 - Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'on confine la région de travail et, pendant le travail au laser, on aspire le gaz contenu dans la région confinée (16).

3 - Procédé suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'on envoie un gaz protecteur ou actif dans la région de travail pendant le travail au laser.

4 - Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, pour la décontamination de ladite surface (3 à 5), caractérisé en ce que ledit faisceau laser résultant (37) possède des impulsions ayant une énergie de 0,3 à 2 joules, ou plus, et une densité d'énergie de 1 à 4,5 J/cm<sup>2</sup>.

5 - Procédé suivant la revendication 4, caractérisé en ce que lesdites impulsions ont une durée de 10 à 30 ns.

6 - Equipement de travail au laser sur une surface (3, 4, 5) contenue dans une zone contaminée (2) d'une installation nucléaire, caractérisé en ce qu'il comprend :

- au moins un générateur d'énergie laser pulsée (12A, 12B), notamment du type Nd-YAG ou excimère, disposé en dehors de la zone contaminée (2); 5
- des moyens pour mettre l'énergie laser sous forme d'au moins deux faisceaux laser pulsés; 10
- un dispositif (15) de combinaison de ces faisceaux laser, produisant au moins un faisceau laser résultant (37) dirigé vers ladite surface, éventuellement par l'intermédiaire d'au moins un miroir de renvoi; 15
- au moins deux fibres optiques (18A, 18B) de transport desdits faisceaux, respectivement, jusqu'à l'entrée de ce dispositif de combinaison (15); et
- des moyens (21) pour déplacer le dispositif de combinaison (15) en regard de ladite surface et au voisinage de celle-ci. 20

7 - Equipement suivant la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend une enceinte de confinement (16) mobile le long de ladite surface solidairement avec le dispositif de combinaison (15) ou avec le miroir (38) et munie de moyens d'aspiration (13, 14, 20). 25

8 - Equipement suivant la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens (19) d'introduction d'un gaz protecteur ou actif dans l'enceinte de confinement (16). 30

9 - Equipement suivant l'une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend deux générateurs d'énergie laser pulsée (12A, 12B), une fibre optique (18A, 18B) associée à chaque générateur, et un dispositif (40) de synchronisation des générateurs. 35

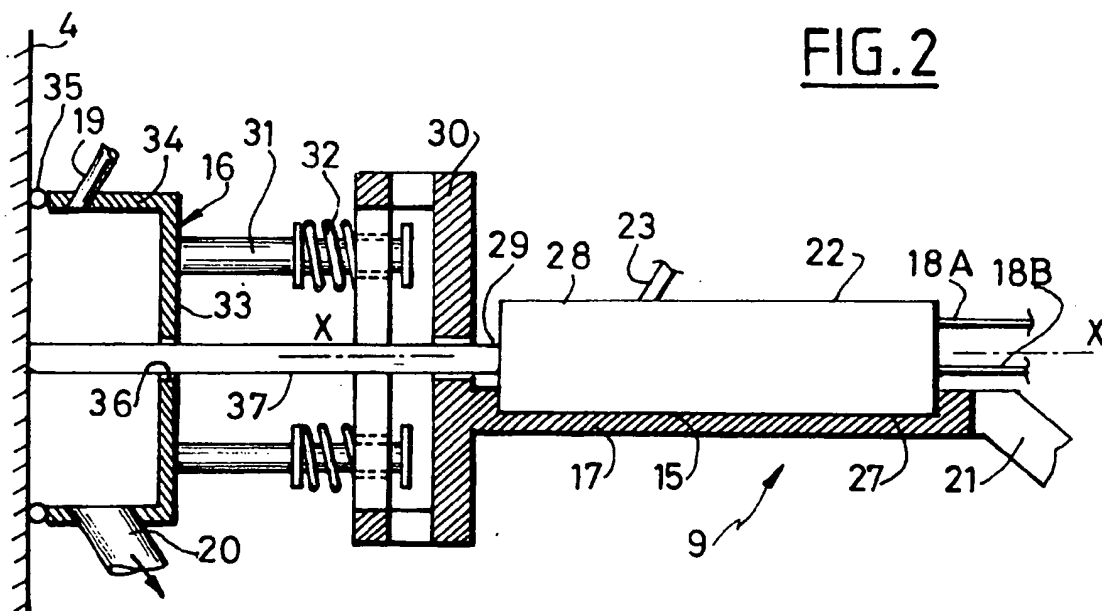
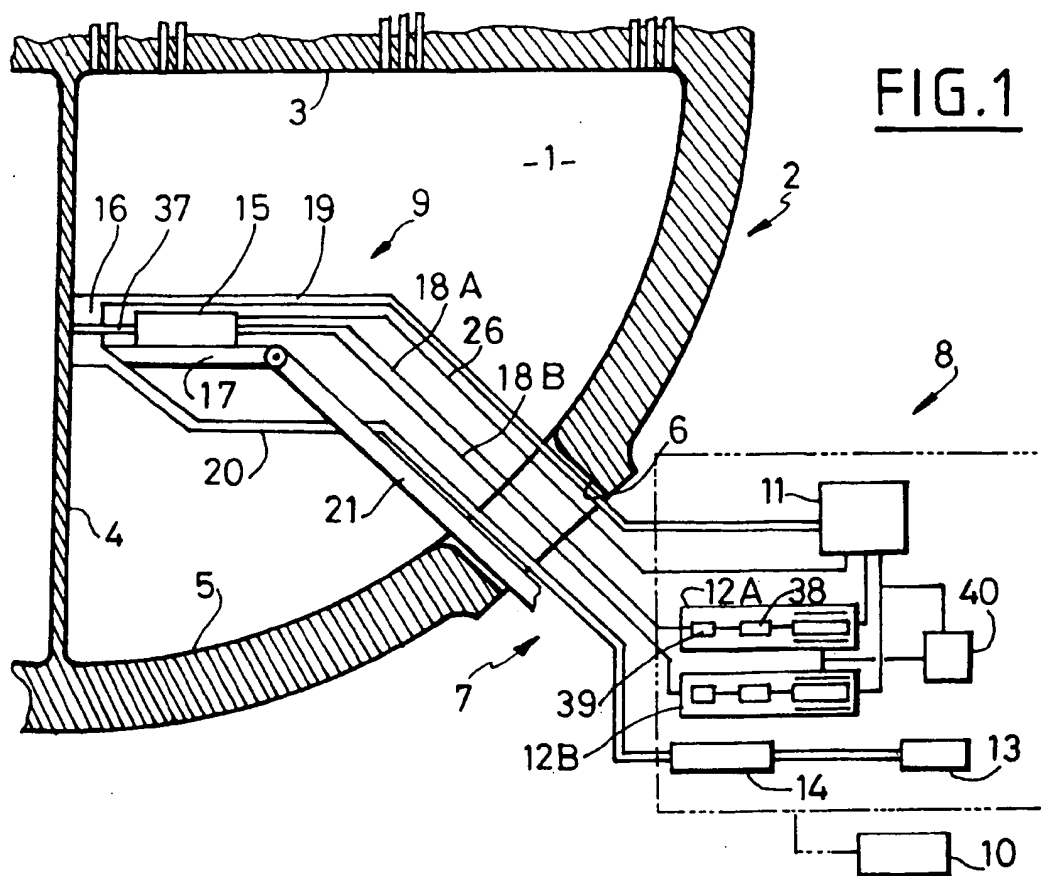
10 - Equipement suivant l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que le ou chaque générateur (12A, 12B) comprend au moins un amplificateur de sortie (38, 39). 40

11 - Equipement suivant l'une quelconque des revendications 6 à 10, caractérisé en ce que chaque fibre optique (18A, 18B) a une longueur d'au moins 10 m environ. 45

12 - Equipement suivant l'une quelconque des revendications 6 à 11, caractérisé en ce que le miroir de renvoi (38) monté en aval du dispositif de combinaison (15) est mobile par rapport à celui-ci. 50

13 - Equipement suivant les revendications 7 et 12 prises ensemble, pour le traitement au laser d'une canalisation, caractérisé en ce que le dispositif de combinaison (15) est porté par un support centreur (44) mobile axialement dans la canalisation (45), et en ce que le miroir de renvoi (38) est fixé dans l'enceinte de confinement (16), laquelle est montée rotative sur ce support, ce dernier portant des moyens (43) d'en- 55

traînement en rotation de l'enceinte.



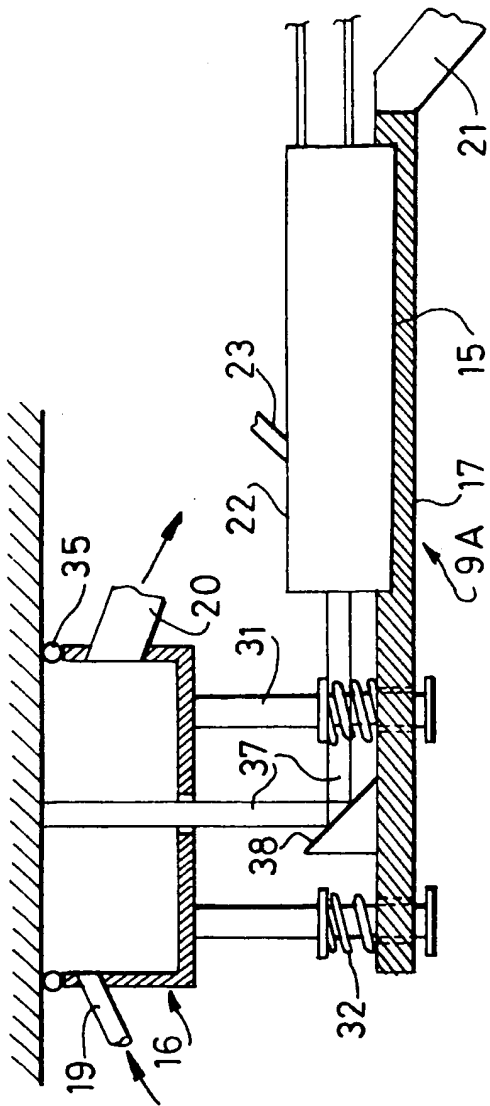


FIG. 3

FIG. 4

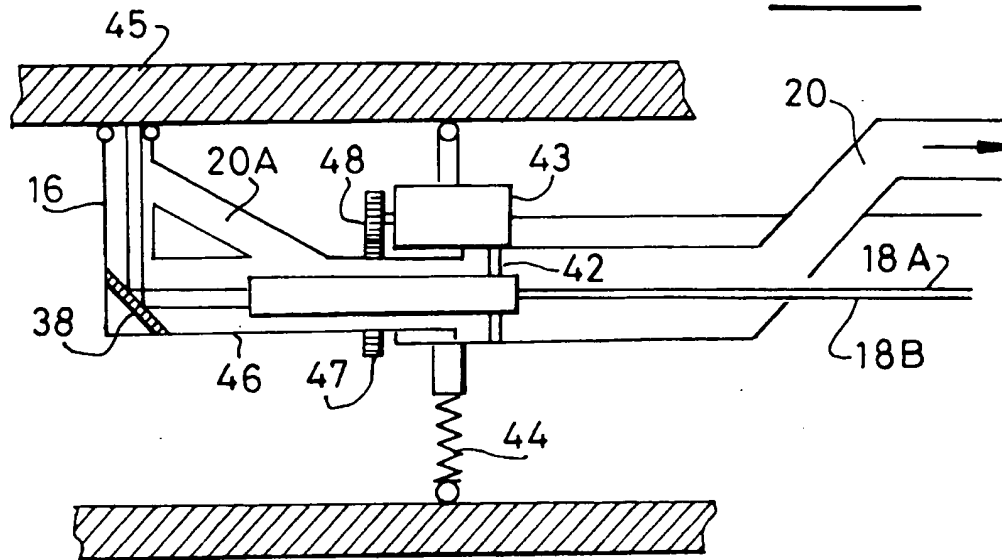
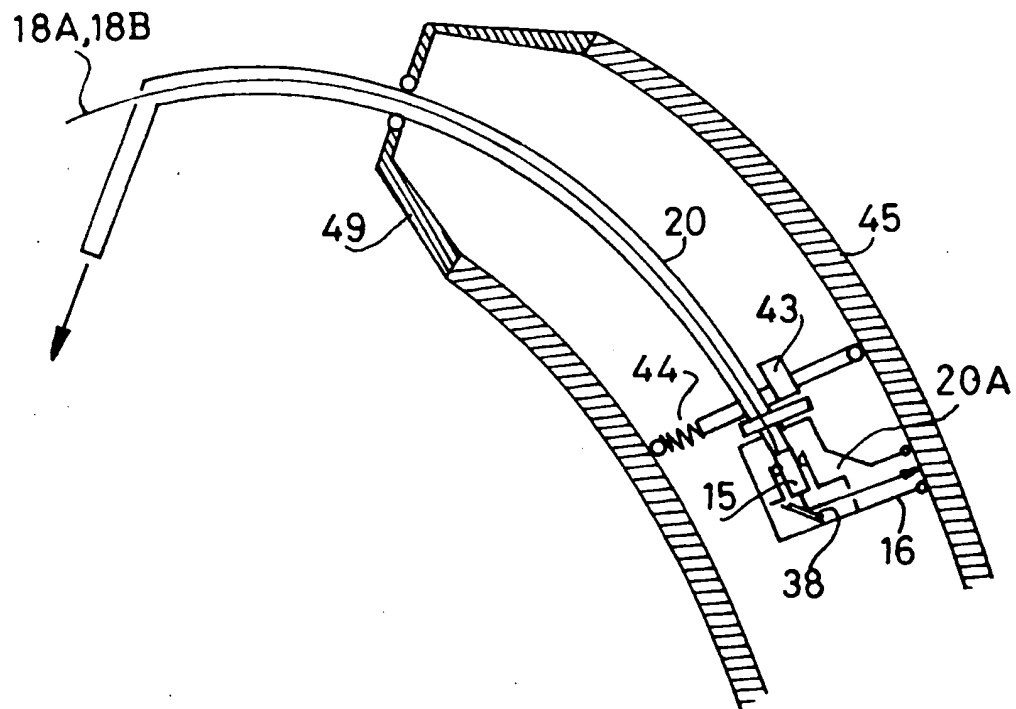


FIG.5







Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 92 40 1465

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
Y, D	EP-A-0 091 646 (WESTINGHOUSE) * revendications 1,2,6; figure *	1-3, 6-9	G21F9/00
Y	WORLD PATENTS INDEX LATEST Derwent Publications Ltd., London, GB; AN 86-323709 & JP-A-61 242 273 (FJWI) 28 Janvier 1986 * abrégé *	1-3, 6-9	
A	WORLD PATENTS INDEX LATEST Derwent Publications Ltd., London, GB; AN AN-88-327038 & JP-A-63 241 399 (TOSHIBA) 6 Octobre 1988 * abrégé *	1-3	
A	FR-A-2 300 632 (ARBED) * page 1, ligne 29 - page 2, ligne 2; revendications 1-3 *	1-13	
A	GB-A-2 118 028 (MAXWELL LABORATORIES) * page 1, ligne 54 - ligne 56; revendications 1,5 *	1-13	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
			G21F F22B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 08 JUILLET 1992	Examinateur NICOLAS H. J. F.
<p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul  Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie  A : arrière-plan technologique  O : divulgation non-écrite  P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention  E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date  D : cité dans la demande  I : cité pour d'autres raisons  &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

EPO FORM 1500 (01.82) (P0402)

BEST AVAILABLE COPY